

Abbildung 61: Spannungsausnutzung der einzelnen Bauteile der Empore

Nach heutiger Norm muss für eine solche Konstruktion eine Verkehrslast von $4,0 \text{ kN/m}^2$ angesetzt werden. Das entspricht etwa 5 Personen pro m^2 . Die Standsicherheit der Empore wurde mittels eines Statikprogramms überprüft. Hierzu wurde innerhalb des Programms ein statisches System modelliert, das auf Basis der bei der Bauaufnahme ermittelten Maße und Gegebenheiten beruht. Anschließend wurde das System mit der Last von $4,0 \text{ kN/m}^2$ beansprucht. Wie sich bei der anschließenden Auswertung der Ergebnisse des Programms zeigte, gab es an einigen lokal begrenzten Bereich eine Überbelastung des Systems (roter Kreis Abbildung 61). Da sich diese Spannungsüberschreitung in einem Bereich von 13% bewegt, ist sie für die Konstruktion nicht problematisch. Wie bereits erläutert, liegen diesen Berechnungen gewisse Sicherheiten zugrunde. Diese Sicherheiten liegen sowohl auf der Materialseite als auch auf der Beanspruchungsseite. Diese Überbelastung würde sich außerdem nach Beendigung der Sanierungsmaßnahmen (Abschnitt 7.3) einstellen. Aufgrund der Setzungen der Emporenstützen liegen die Balken der Konstruktion nicht mehr in allen Bereichen auf den lastabtragenden Unterzügen auf. Würde man im Rahmen der Sanierung diese Balken durch Unterleghölzer wieder mit den Unterzügen verbinden, so würden an diesen Stellen wieder Lasten abgetragen. Diese Maßnahmen würden das statische System positiv verändern – geringer Stützweiten – und die Überbelastung würde rückgängig gemacht.

7.2 Zustandskartierung

Die Zustandskartierung der Empore bzw. deren Bauteile erfolgte, wie in den anderen Abschnitten bereits beschrieben nach der Kartierungsmethode von Frank Rinn. Hierzu wurde die Abmessungen und die Lage der einzelne Konstruktionsteile ermittelt und aus den so gewonnenen Daten wurden Bestandspläne erstellt. In diese Pläne wurden dann entsprechend die Schädigungen der Bauteile farblich markiert.

Holzzustand nach Messung, Klopfprobe und visuellem Befund	
Legende zur handwerklichen und ingenieurtechnischen Bauwerksuntersuchung	
Bohrwiderstandsmessung und Bohrrichtung (Resistograph)	
① Nummer der Messung	⊗ In Zeichenebene hinein
○ Aus Zeichenebene heraus	⊗/○ Diagonal in/ aus Zeichenebene
→/← Horizontal/Vertikal	
Zustandsdarstellung	
— Nicht untersuchter Bereich	18% Holzfeuchte
Kein Schadensbefund	Substanzverlust < 30% - Reparatur oder Austausch je nach Nutzungsanforderung
Oberflächenschaden bis 1 cm	Substanzverlust > 30% - Reparatur oder Austausch in jedem Fall erforderlich, nicht mehr ausreichend tragfähig.
Kernfäule/Randschäden	
Konstruktionsdarstellung	
... Vermuteter Konstr.-Verlauf	Unsachgemäße Reparatur
Nicht Kraftschlüssig	Nicht formschlüssig
Verformung/Quetschung	Eiserne Verbindung
Geschädigter Holznagel	Bruch, Riss
Fehlkantigkeit	Hohe Astigkeit
Faserneigung (Krummschaftigkeit, Drehwuchs)	
NH Holzart: Nadelholz (NH), keine Angabe: Eiche	
Nicht farbig angelegte Hölzer sind nicht untersucht worden, waren während der Untersuchung unzugänglich oder nicht vorhanden.	

Abbildung 62: Legende für Zustandskartierungen

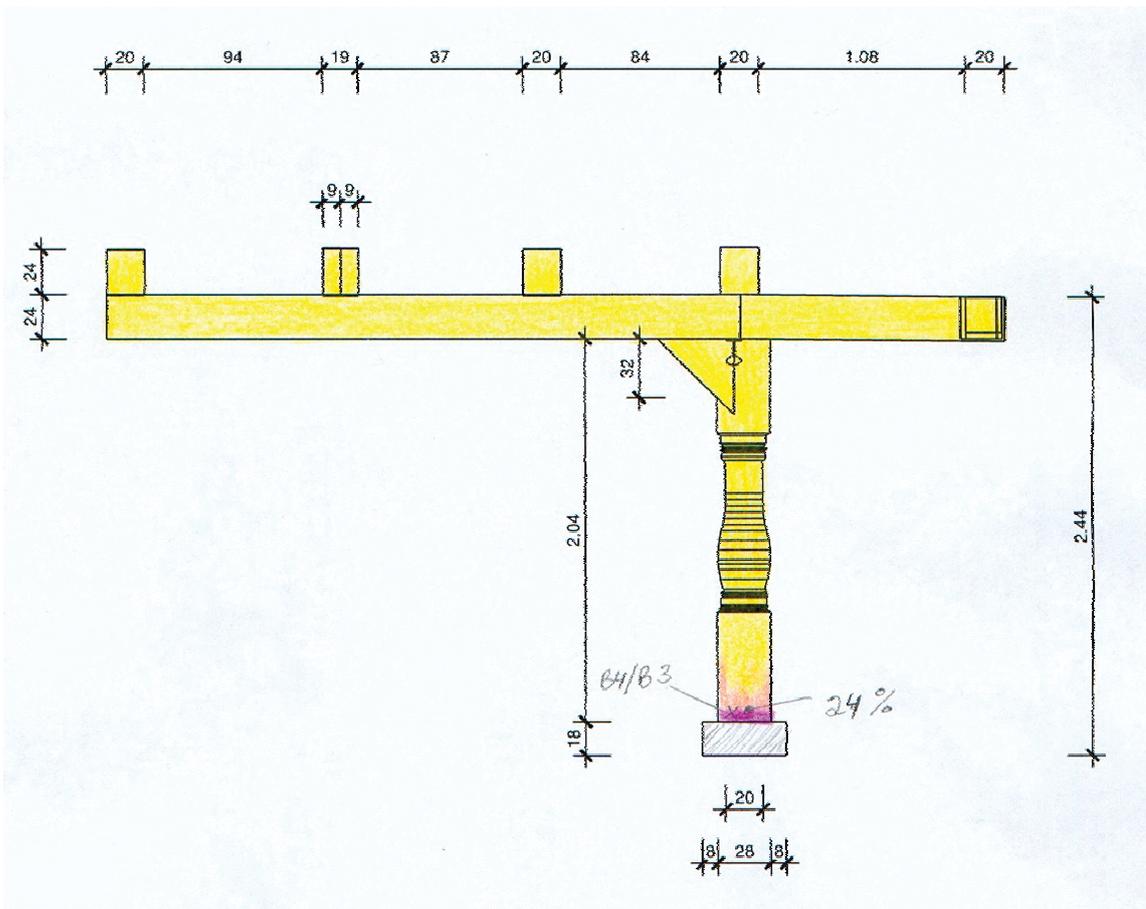


Abbildung 63: Zustandskartierung Schnitt I – I

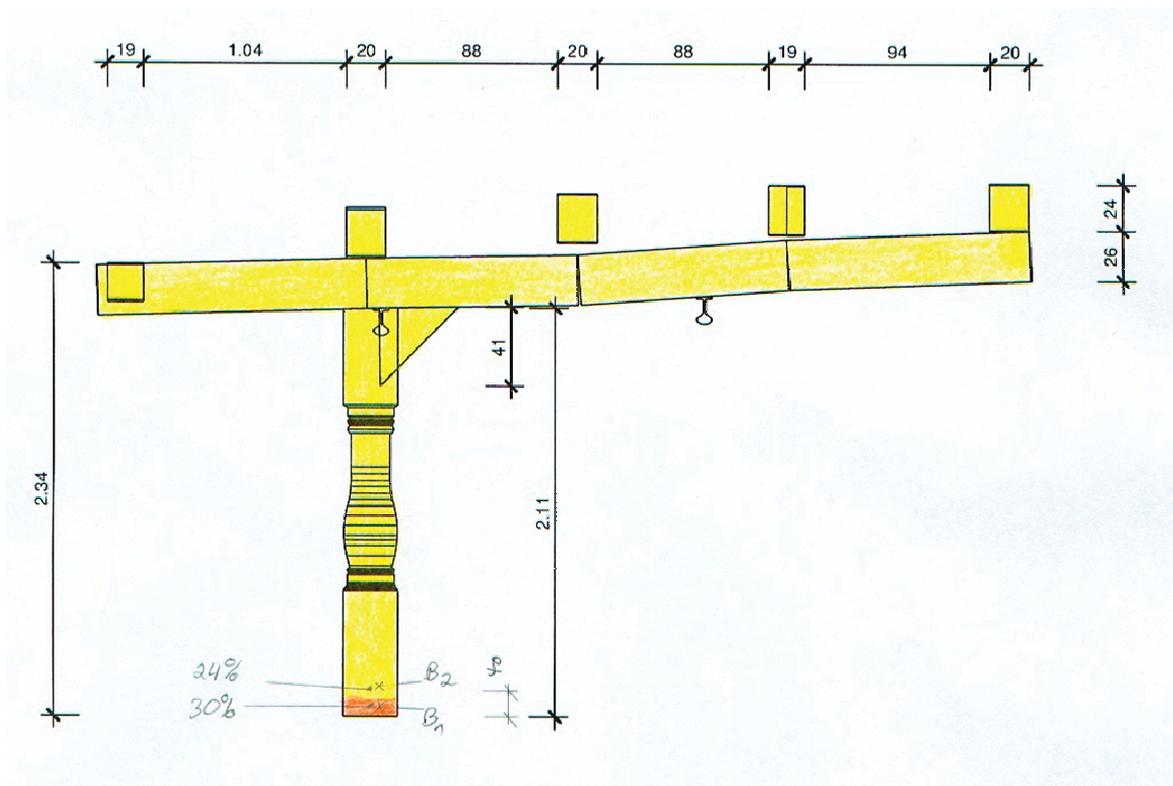


Abbildung 64: Zustandskartierung Schnitt III – III

7.3 Sanierungsmaßnahmen

Primär sind bei der Empore nur die unteren Teile der beiden Stützen auszutauschen. Da zum Zeitpunkt der Bauaufnahme kein Fundament unter den Stützen vorhanden war, ist bei dieser Sanierungsvariante unbedingt ein Betonsockel einzubauen. Zwischen dem Betonsockel und den Holzteilen ist unbedingt eine Bitumenpappe als Feuchtesperre anzuordnen. Die neu einzubauenden Teile müssen kraftschlüssig mit der alten Konstruktion verbunden werden. Eine weitere Maßnahme, die unbedingt ausgeführt werden muss, ist das „unterfüttern“ der Balkenlage mit Holzstücken im Bereich der Unterzüge. Dies ist wichtig, da nur so eine Kraftübertragung zwischen Balken und Unterzug gewährleistet werden kann. Aus optischen Gründen sollten die Unterlegstücke auch bündig mit dem Unterzügen abgeschnitten werden und mit einem Nagel in ihrer Lage gesichert werden.

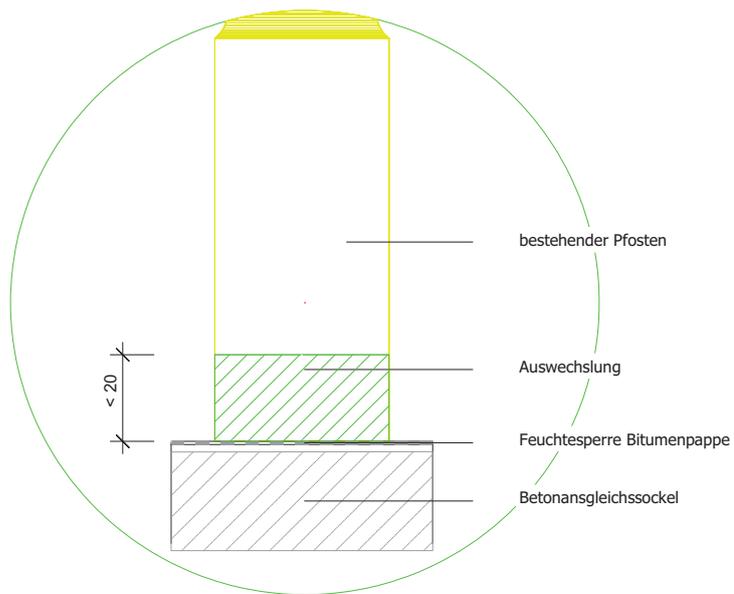


Abbildung 65: Ausführungsdetail der Sanierung des Stützenfußes

Aus tragwerkplanerischer Sichtweise ist für den Rest der Empore kein Sanierungsbedarf vorhanden.

8 Außenbereich

8.1 Aufbau der Außenwände

Die Außenwände der Kirche sind in Blockbalkenbauweise errichtet worden. Die Abmessung der Balken betragen 21/34 cm. Die Höhe der Wände beträgt ca. 5 m. Die Fugen und Risse in der Wand sind mit Lehm verfugt. Die Balken sind aus Fichtenholz gefertigt welche man vermutlich aus den umliegenden Wäldern gezielt ausgewählt hat. Der heutige Wandaufbau besteht aus, von innen nach außen, ca. 3cm Putz inklusive Schilfrohrputzträger, der Blockbalkenwand ca. 21cm und einer Boden – Deckel - Schalung aus Lärchenleisten ca. 2 x 2,7 cm. Somit hat die Außenwand eine Gesamtstärke von ca. 30 cm. (Abbildung 66).

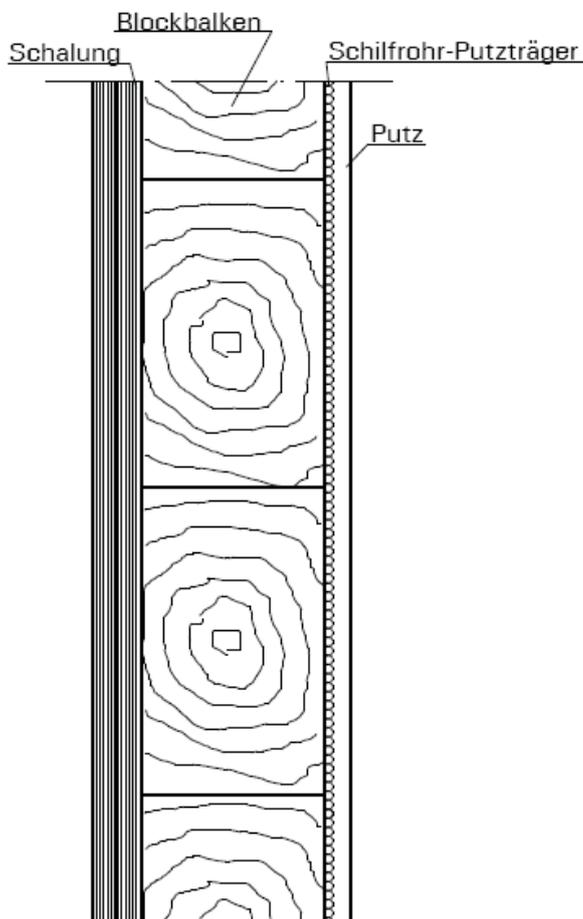


Abbildung 66: Schematischer Außenwandaufbau

Die Eckverkämmung wurde mit höchster Präzision und handwerklichen Geschick aus den Bohlen heraus gearbeitet (Abbildung 69). Da die Blockquerschnitte aus dem Rundholz geschlagen wurden, haben sie nicht die Maßhaltigkeit die man heutzutage im industriellen bzw. maschinellen Holzeinschnitt erreicht. Dies hatte zufolge, dass jeder Balken einzeln aufeinander angepasst werden musste.

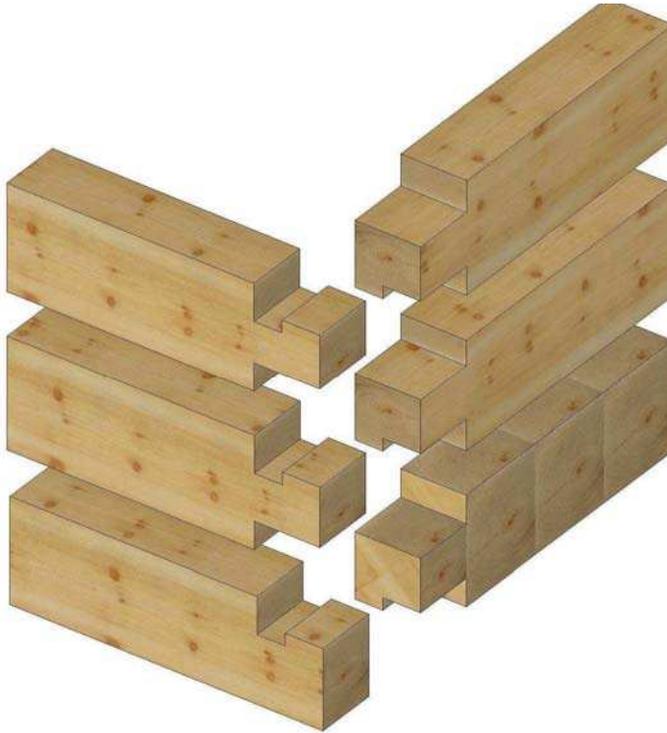


Abbildung 68: Isometrie der Außenwandeckverbindung

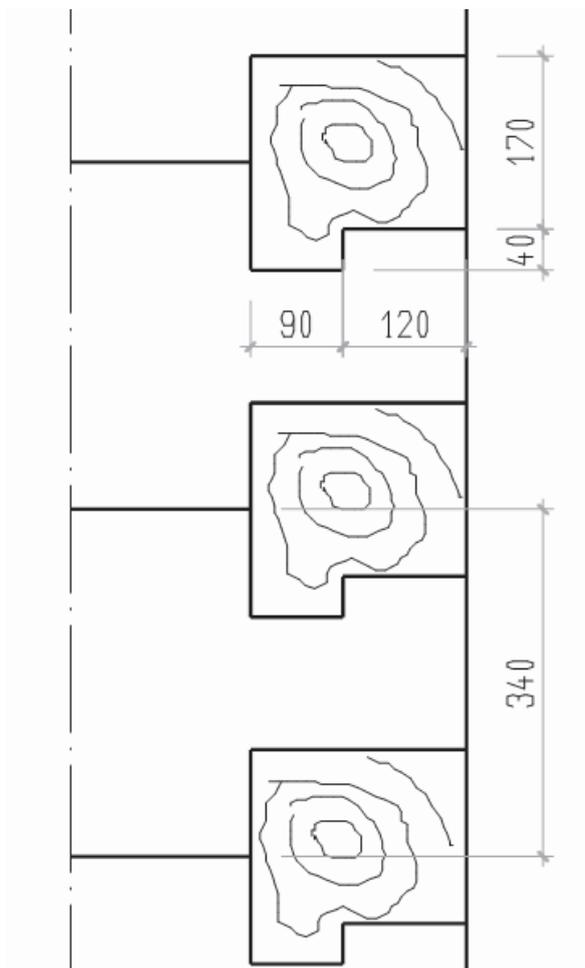


Abbildung 69: Aufmasszeichnung der Eckverbindung

8.2 Zustandskartierung der Außenwände

Mit Hilfe der Legende für Zustandskartierungen von Frank Rinn haben wir die Schäden an der Fassade aufgenommen (Abbildung 70). Wie auf der Abbildung 71 zu erkennen, ist diese sehr ausführlich und anschaulich. Sie umfasst die Aufnahme von Substanzverlusten, Insektenbefall, Feuchtegehalt und vieles mehr. Auch die Bohrwiderstandsmessungen werden in dieser Legende berücksichtigt. Die Blockbalken der Außenwände sind größtenteils in einem guten Zustand, bis auf den Schwellenbereich. Wie auf der Abbildung 70 zu erkennen ist der Zustand der unteren Blockbalken teilweise sanierungsbedürftig. Anhand der Feuchtemessungen ist zu erkennen, dass an manchen Stellen des Schwellenbereiches eine Ausbesserung der Wetterschutzschalung unbedingt durchzuführen ist. Zusätzlich ist eine Sanierung des Sockels notwendig. Dies wird in dem Sanierungskonzept weiter erläutert.

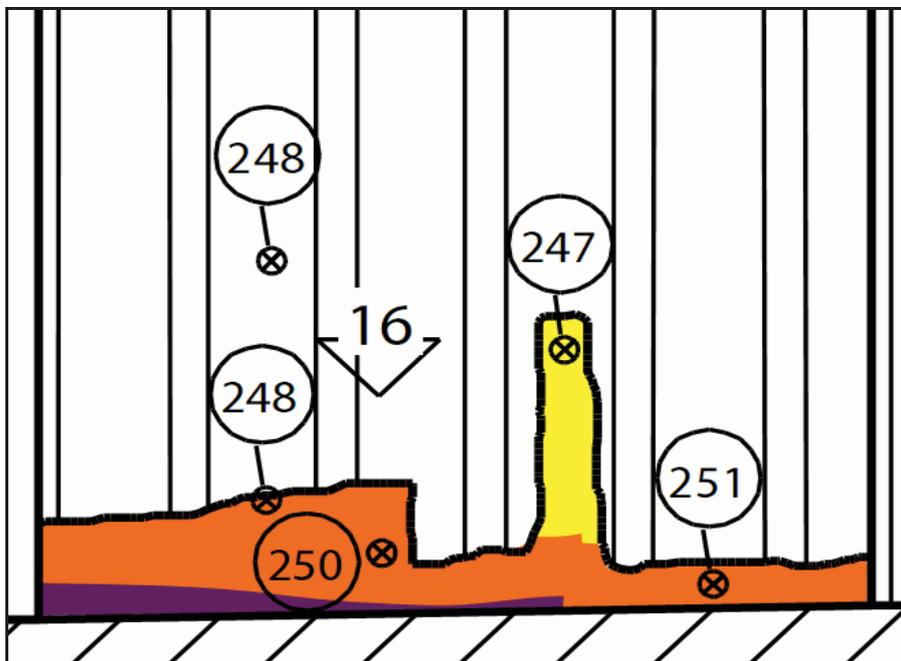


Abbildung 70: Zustandskartierung in einem schadhaften Bereich

Holzzustand nach Messung, Klopfprobe und visuellem Befund	
Legende zur handwerklichen und ingenieurtechnischen Bauwerksuntersuchung	
Bohrwiderstandsmessung und Bohrrichtung (Resistograph)	
① Nummer der Messung	⊗ In Zeichenebene hinein
○ Aus Zeichenebene heraus	⊗/○ Diagonal in/ aus Zeichenebene
→ ↓ Horizontal/Vertikal	
Zustandsdarstellung	
— Nicht untersuchter Bereich	18% Holzfeuchte
Kein Schadensbefund	Substanzverlust < 30% - Reparatur oder Austausch je nach Nutzungsanforderung
Oberflächenschaden bis 1 cm	Substanzverlust > 30% - Reparatur oder Austausch in jedem Fall erforderlich, nicht mehr ausreichend tragfähig.
Kernfäule/Randschäden	
Konstruktionsdarstellung	
•••• Vermuteter Konstr.-Verlauf	Unsachgemäße Reparatur
Nicht Kraftschlüssig	Nicht formschlüssig
Verformung/Quetschung	Eiserne Verbindung
Geschädigter Holznagel	Bruch, Riss
Fehlkantigkeit	Hohe Astigkeit
Faserneigung (Krummschaftigkeit, Drehwuchs)	
NH Holzart: Nadelholz (NH), keine Angabe: Eiche	
Nicht farbig angelegte Hölzer sind nicht untersucht worden, waren während der Untersuchung unzugänglich oder nicht vorhanden.	
<small>Holzzustandsuntersuchung nach Frank Rinn</small>	

Abbildung 71: Legende für Zustandkartierungen nach Rinn

Ein zusätzliches Problem ist dadurch entstanden, dass Teile des Sockels an der Nordseite nachträglich ausgemauert wurden. Diese Sanierungsmaßnahme wurde mit herkömmlichen Ziegelsteinen durchgeführt, bei denen eine Sperrschicht zwischen Sockel und Blockbalken unbedingt erforderlich ist (Abbildung 72). Da das eigentliche Fundament aus Naturstein war gab es keine kapillare Wirkung. Durch die nachträgliche Untermauerung und Verputzung des Sockels ist nun eine kapillaraktive Schicht erzeugt worden. Die Bodenfeuchtigkeit gelangt somit ungehindert in die Blockbalken.

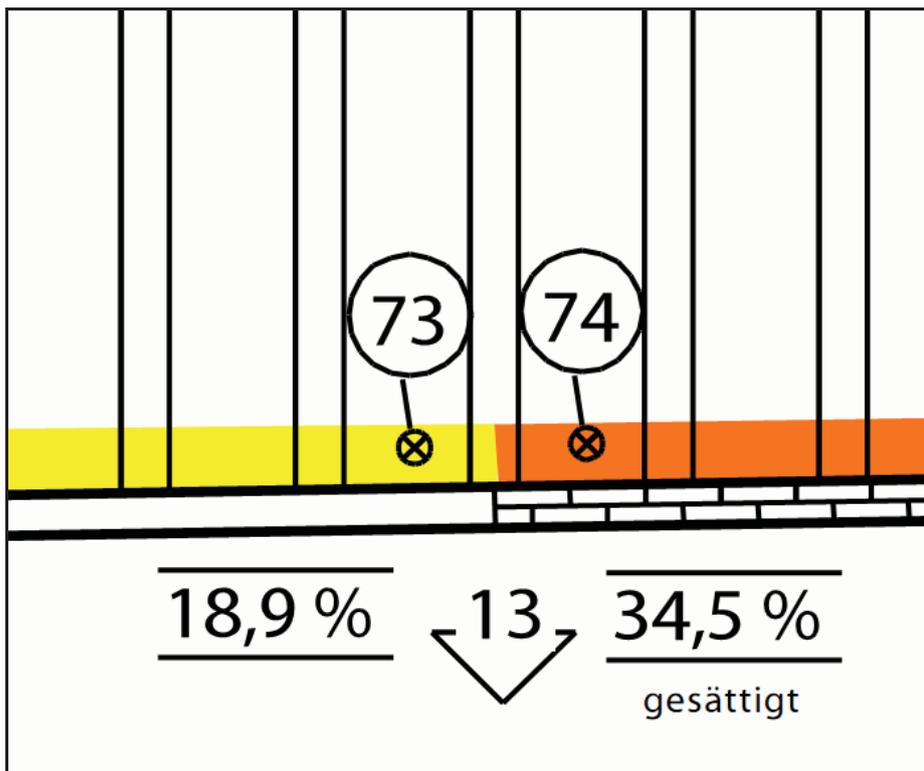


Abbildung 72: Schadhafter Sockelbereich in der Nordseite



Abbildung 73: Geschädigter Schwellenbereich

Da die Verschalung gegenüber dem Sockel etwas zurückspringt, bleibt das Regenwasser auf dem Sockel stehen und bewirkt somit eine kontinuierliche Befeuchtung des Holzes (Abbildung 73). Hinzu kommt dass die Verschalung in manchen Bereichen schadhafte oder zu kurz ist (Abbildung 74). Die Blockbalken sind somit ständig der Wit-

terung ausgesetzt. Bei freiliegenden Hirnholzflächen führt dies schnell zu Schäden, da diese Flächen besonders starke kapillare Eigenschaften haben.



Abbildung 74: Stark zerstörte Holzschalung an der Südfassade



Abbildung 75: Zu kurze Schalung



Abbildung 76: Schadhafte Schalung

8.3 Erforderliche Sanierungsmaßnahmen der Außenfassade

Die Untersuchungen die an der Außenfassade durchgeführt wurden, zeigten dass eine Sanierung in analysierten Bereichen erforderlich ist. Diese Sanierungsmaßnahmen die sich aus der Zustandskartierung ergaben, werden im Folgenden erläutert.

Auf Grund der Holzfeuchtemessungen, die im Bereich der Schwelle durchgeführt wurden, ist die erste Sanierungsmaßnahme eine Trockenlegung dieser untersuchten Schwellen. Hierbei ist eine Holzfeuchte von unter 20 Vol. - % anzustreben.



Abbildung 77: Durch Feuchtigkeit geschädigte Schwelle

In einem Teilbereich zeigte die Holzfeuchtemessung das hier die Schwelle den Fasersättigungspunkt überschritten hat ($\geq 30\%$ Holzfeuchte). Dementsprechend muss dieser Bereich untermauert werden, um eine geringere Holzfeuchte zu erlangen, sowie einen erneuten Schaden zu vermeiden.

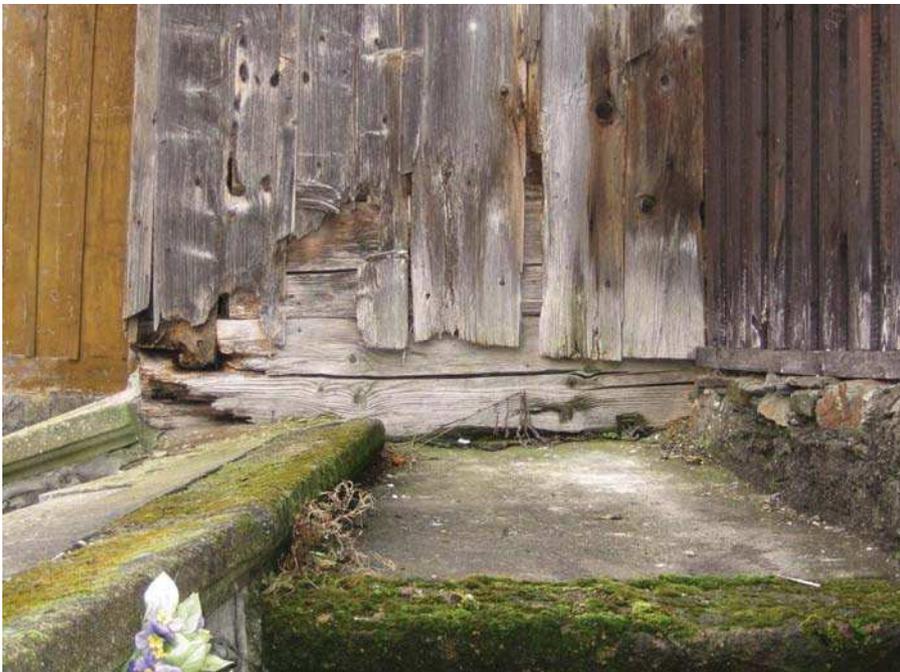


Abbildung 78: Schwellebereich mit einer Holzfeuchte $> 30\%$,

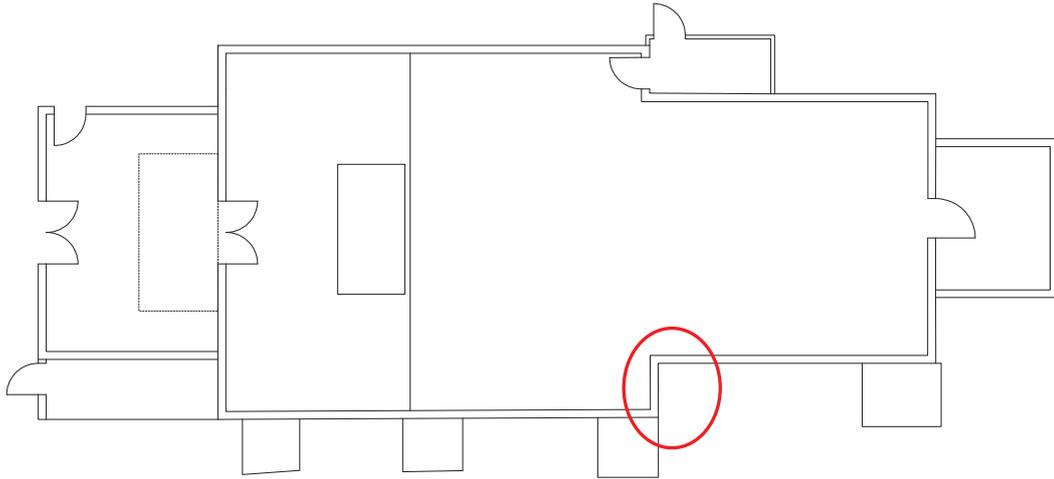


Abbildung 79: Geschädigte Bereich am Gebäude



Abbildung 80: Fehlerhafte Sanierungsmaßnahme

Eine weitere erforderliche Sanierungsmaßnahme besteht darin, eine gekantete Fundamentabdeckung aus Zinkblech einzubauen. Dieses Tropfblech verhindert, dass weiteres Wasser in die Konstruktion eindringen kann.

Auch die Holzfassade zeigt Schäden. Das Rückschneiden der Fassadenschalung um ca. 15 cm ist erforderlich, da sonst das Wasser weiter in den Wandaufbau bzw. in die Schwelle laufen würde. Zusätzlich ist das Austauschen der Verschalung erforderlich, welcher Bereich genau ausgetauscht werden muss, sagt die Zustandskartierung der Außenfassade aus.



Abbildung 81: Notwendige Erneuerung der Schalung im Schwellenbereich



Abbildung 82: Spechtlöcher in der Verschalung

9 Fundamente

9.1 Feuchtigkeit in den Fundamenten und der Schwelle an der Südseite

Nachdem wir die Fundamente untersucht haben, sind wir zu dem Entschluss gekommen, dass sie nur im oberen Bereich feucht sind. Aufsteigende Feuchtigkeit aus dem Erdreich kann also nicht die Ursache sein.

Das Problem liegt darin, dass die Fundamente nachträglich verputzt wurden. Die Brettverschalung ragt nicht mehr über die Fundamente herüber, wie in Abbildung 83 zu sehen ist, behindert der Putz den Ablauf von Wasser. Dadurch kann das Wasser nicht mehr ordnungsgemäß abgeführt werden. Das Wasser staut sich in dem Bereich und dringt so in das Fundament ein. Dadurch kommt es zu Feuchteschäden im Fundament und in der Schwelle. Durch die Feuchtigkeit hat sich der Putz auch schon in sehr vielen Bereichen von dem Fundament abgelöst.

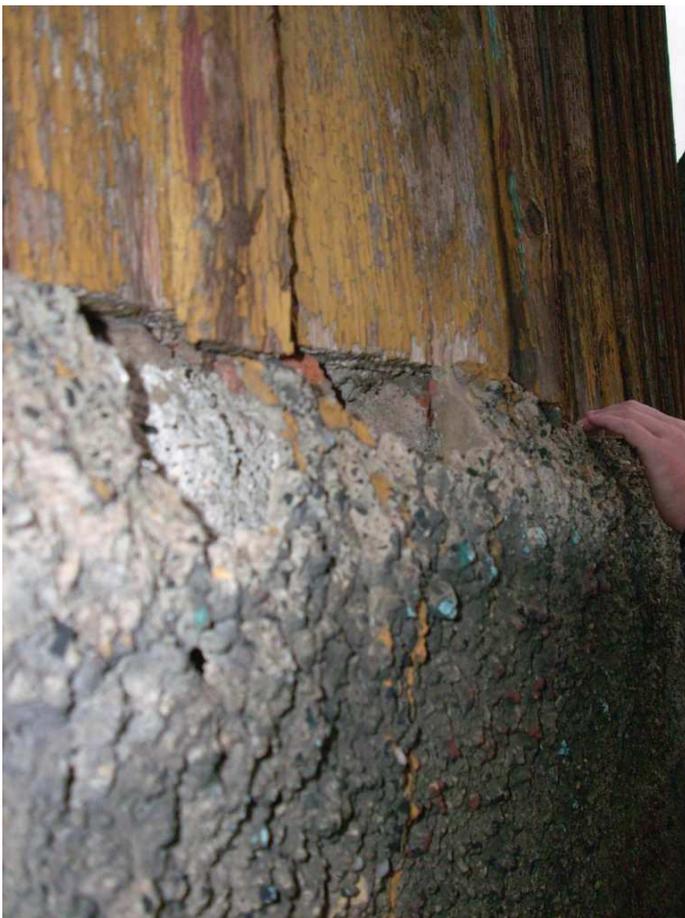


Abbildung 83: Putzkante behindert den Wasserablauf

Sanierungsvorschlagvorschlag:

Der Putz muss an den Fundamenten komplett abgeschlagen werden, bis nur noch das Natursteinmauerwerk zu sehen ist. Dadurch kann das Wasser wieder ungehindert abfließen und das Fundament und die Schwelle können so austrocknen.

Da die Schwelle aber schon sehr stark durchfeuchtet ist, wäre eine weitere wichtige Maßnahme, die Stoßfugen in der obersten Reihe der Fundamente frei zu kratzen. Somit kommt mehr Luft an die Schwelle und es kann auch keine aufsteigende Feuchtigkeit aus den Fundamenten in die Schwelle gelangen.

Damit das Natursteinmauerwerk auch wieder schön aussieht, werden die Fugen 3 bis 4 cm tief ausgekratzt und neu verfügt.

9.2 Feuchtigkeit in den Fundamenten und der Schwelle an der Nordseite

Wie in Abbildung 84 zu sehen ist, wurden an der Nordseite im Fundament einige Natursteine durch Ziegelsteine ersetzt.

Ziegelsteine besitzen eine sehr viel höhere Kapillarwirkung wie Natursteine. Dadurch ist die Schwelle im Bereich der Ziegelsteine stärker durchfeuchtet, wie in Abbildung 85 zu sehen ist.



Abbildung 84: Unterschiedliche Sockelmaterialien (Sandstein und Ziegelstein)

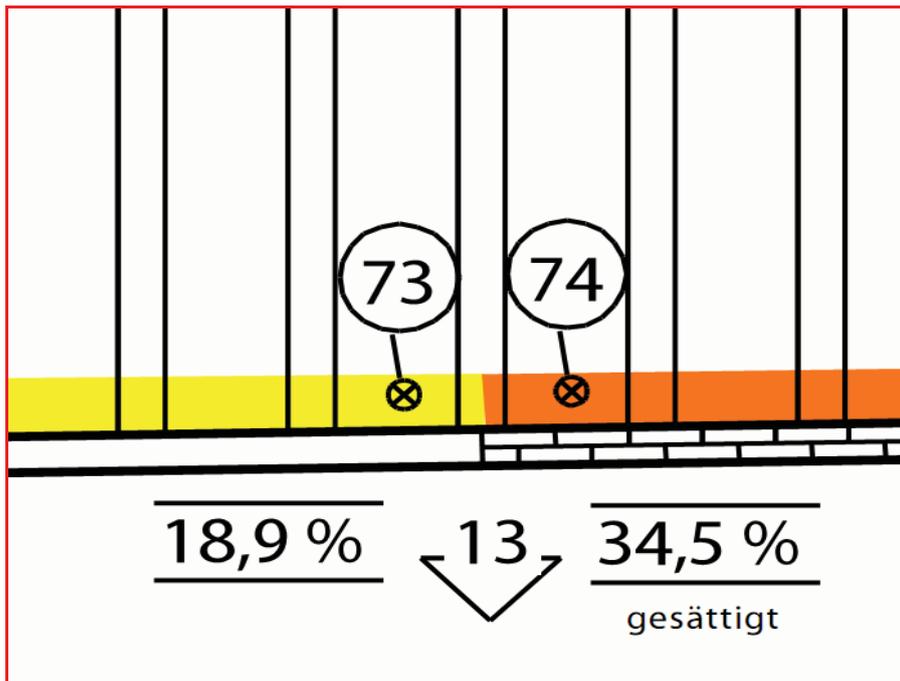


Abbildung 85: Holzfeuchte im entsprechenden Bereich

Sanierungsvorschlagvorschlag:

Es ist ratsam, die Ziegelsteine wieder durch Natursteine zu ersetzen, die keine bzw. nur eine geringe Kapillarwirkung besitzen. Auch hier sollten die Stoßfugen in der Schicht unter der Schwelle ausgekratzt werden, damit diese schneller austrocknen kann und vor aufsteigender Feuchtigkeit geschützt ist.

9.3 Feuchteschäden in der Schwelle durch Mauerwerksvorlagen

Die Mauerwerksvorlagen an der Südseite wurden bis über die Schwelle gebaut (Abbildung 86; Abbildung 88)



Abbildung 86: Mauerwerksvorlage

Das Wasser staut sich im Bereich der Schwelle und es kommt so zu sehr starken Feuchteschäden in der Schwelle. In Abbildung 87 ist zu erkennen, dass auch die Bretterschalung stark in Mitleidenschaft gezogen wurde.



Abbildung 87: Feuchteschäden durch Mauerwerksvorlagen

Sanierungsvorschlagvorschlag:

Eine Sanierungsmöglichkeit besteht darin, die Mauerwerksvorlage um ca. 20 cm abzutragen, so dass die Vorlagen höchstens bis zur Oberkante der Fundamente reichen. Somit kann das Wasser wieder richtig abfließen und es kommt mit der Schwelle nicht in Berührung.

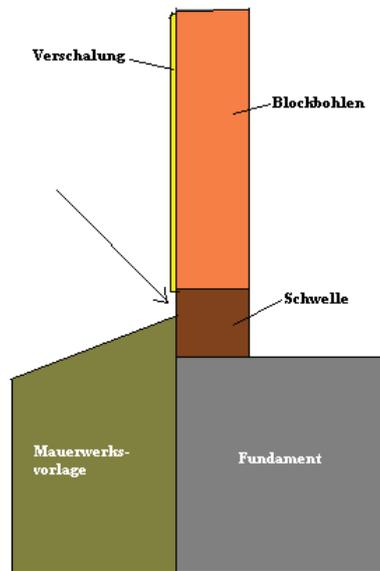


Abbildung 88: Vorhandene Mauerwerksvorlage

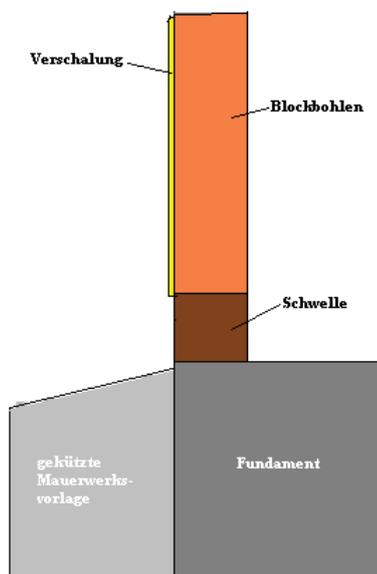


Abbildung 89: Abgetragene Mauerwerksvorlage

9.4 Schiefstellung der Fundamente an der Südseite

In Abbildung 90 ist zu sehen, dass Die Fundamente dort eine Schiefstellung von bis zu 14 cm haben, wodurch die Blockbohlen mit nach außen gezogen wurden.

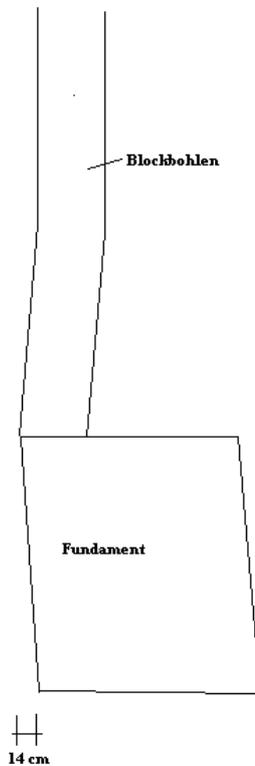


Abbildung 90: Schiefstellung der Fundamente

Als Ursache hierfür, kommt nur der aktive Erddruck in Frage.

Die exzentrische Lasteinwirkung hat keine Ursache auf die Schiefstellung. Durch die exzentrische Lasteinwirkung kommt es zu einer Sohldruckspannung von Max $\delta = 133.33 \text{ kN/m}$. Die zulässige Sohldruckspannung bei einem halbfesten tonigen Boden, wie er in diesem Fall vorliegt, beträgt aber 170 kN/m .

Der aktive Erddruck ist aber nur in ersten 10 bis 20 Jahren tätig. Danach stellt dieser sich ein. Das erklärt auch, warum an der Kirche keine Schäden infolge der Schiefstellung zu sehen sind. Normalerweise müssten am Innenputz und an der Bretterverschalung sehr große Schäden zu sehen sein.

Da dies aber nicht der Fall ist und der Innenputz und die Verschalung schon min. 50 Jahre alt sind, hat sich die Schiefstellung eingestellt.

10 Schlussbetrachtung

An den hier durchgeführten Untersuchungen und Auswertungen wird deutlich, dass auch die Analyse des Tragwerks und der Konstruktion einen wichtigen Stellenwert bei der Untersuchung von historisch bedeutenden Gebäuden haben kann und soll.

Bei der Ausbildung von Ingenieuren spielt die Analyse von historischen Konstruktionen kaum eine Rolle. Insbesondere bei historischen Holzkonstruktionen können die tragwerksplanerischen Untersuchungen Erkenntnisse und Hintergründe über das Wissen der Erbauer und deren Vorgehensweisen geben. Hierbei ermöglicht die statische Analyse des Tragwerks Einblicke und ein Verständnis für das Gesamtbauwerk, die bei einer rein auf historischen Fakten und Befunden beruhenden Analyse verborgen bleiben. Bei diesem Objekt konnte aufgrund der Tragwerksanalyse des Dachstuhls erkannt werden, dass die Belastungen durch den aufgesetzten Glockenturm in der ursprünglichen Planung unzureichend abgeschätzt worden waren. Die statische Analyse offenbarte hierbei eine völlige Unterschätzung der Tragfähigkeit der Deckenbalkenlage und es musste schon unmittelbar nach Fertigstellung des Dachstuhls eine Verstärkungs-konstruktion in Form eines Hängewerks hinzugefügt werden. Das der Einbau dieser Hängewerkskonstruktion nicht geplant war und nur mit einem geringen zeitlichen Abstand zur Fertigstellung der eigentlichen Dachkonstruktion erfolgte, ist aus eine Analyse der historischen Fakten nicht ablesbar. Erst die tragwerksplanerische Analyse und die statischen Berechnungen des Dachtragwerks unter Berücksichtigung von konstruktiven Befunden an dem Hängewerk belegen dieses Vorgehen.

Neben den rein historischen Fakten, lassen sich aber auch noch weitergehenden Schlüsse hieraus ziehen:

Das Vorgehen beim Entwurf und der Konstruktion von derartigen Bauwerken fußt ausschließlich auf Erfahrungswerten. Erst wenn diese sich in anderen Zusammenhängen sich bewährten Konstruktionen als nicht standsicher erwiesen, wurde eingegriffen und die Konstruktion verstärkt. Dies macht deutlich, dass eine Planung und im weitesten Sinne eine Bemessung oder Dimensionierung dieses Bauwerks auf der Grundlage einer Berechnung oder Abschätzung des Lastabtrag für die Baumeister noch nicht möglich war. Hierdurch soll in keinsten Weise die Leistung der Erbauer gemindert werden, sondern wir erhalten hierdurch einen guten Einblick mit welchen Methoden und Kenntnissen derartig anspruchsvolle Bauten erstellt worden sind.

Weiterhin ermöglicht ein derartiges Hintergrundwissen eine sinnvolle und zielgerichtete Sanierung von historischen Konstruktionen unter Berücksichtigung des wirklichen Tragverhaltens.

An diesem Projekt lässt sich gut erkennen und nachvollziehen, dass durch das aktive Mitwirken des Ingenieurs bei historisch wertvollen bzw. denkmalgeschützten Bauwerken viele Details über das Bauwerks selbst, aber auch über die Erbauer und deren Kenntnisse und Vorgehensweisen erhellt werden können.

Die Verfasser hoffen mit dieser Ausarbeitung bei Ingenieuren Interesse für historische Bauten und bei Architekten, Denkmalpflegern und Historikern Lust auf Zusammenarbeit mit den Ingenieuren geweckt zu haben.